

**Е. В. ПЕЛЕШКО, А. Ю. ВАСИЛЬЕВ,**  
**Г.Д. ГРИЦЕНКО**, канд. техн. наук, НТУ “ХПИ”,  
**С.Т. БРУЛЬ**, Центральное Бронетанковое управление Вооружения  
Главного управления логистики Командования сил поддержки  
Вооруженных Сил Украины, **Е.П. ПОНОМАРЕВ**, ОАО “ХТЗ”

## **К ВОПРОСУ О РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ КОРПУСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Представлено результати розрахунково-експериментальних досліджень макетів корпусів бронетранспортера БТР-80 та тягача МТ-ЛБ. Визначено раціональні параметри скінченно-елементних моделей корпусів транспортних засобів спеціального призначення для дослідження напружено-деформованого стану.

The results of computational and experimental researches of models of hulls of the armoured troop-carrier BTR-80 and tractor MT-LB are presented. The rational parameters of finite-elements models of hulls of transport vehicles of the special setting for research of their stressed-deformed state are determined.

**Введение.** Процесс исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) корпусов транспортных средств специального назначения [1-4] сдерживается во многих случаях неопределенностью на этапе построения их конечно-элементных моделей (КЭМ), а именно необходимостью объективного обоснования применимости тех или иных типов конечных элементов (КЭ), установления тех или иных их средних размеров, а также распределением зон сгущения-разрежения конечно-элементных сеток. Как указывается в работе [5], метод конечных элементов (МКЭ) при определенных условиях дает сходимость получаемых результатов моделирования НДС к точному. Существуют асимптотические оценки погрешности конечно-элементного моделирования, однако внутренними средствами МКЭ нельзя полностью решить проблему определения параметров конечно-элементной модели, которая обеспечивает заданную точность НДС. Для решения этой задачи можно привлечь метод обобщенного параметрического описания сложных механических систем [6, 7], определив в качестве искомого варьируемого обобщенного параметра саму конечно-элементную модель, а в качестве критерия – требуемую точность моделирования НДС.

Основы расчетно-экспериментальной технологии, формализующей процесс построения адекватных, достоверных и точных КЭМ на основе параллельного и взаимовлияющего осуществления процессов численного и экспериментального исследований, изложены в работах [1-4, 6-9]. Однако во многих случаях применение этой технологии напрямую затруднено, поскольку физическая модель исследуемого объекта отсутствует, например, на начальных этапах проектирования новых машин или модернизации существующих конструкций, а также в случае неудобства или невозможности экспериментального исследования натурного объекта. Такая ситуация возникает, например, при определении параметров КЭМ проек-

тируемых корпусов транспортных средств специального назначения. Эти модели используются для определения реакции корпуса на динамическое и импульсное воздействие при движении по местности, при производстве выстрелов и при различных видах опирания на элементы подвески. В таких случаях предлагается выделять типичные конструкции корпусов, изготавливать макеты наиболее нагруженных и ответственных частей конструкции и проводить весь цикл расчетно-экспериментальных исследований этих макетных образцов.

Предметом анализа в данной статье является расчетно-экспериментальное исследование фрагментов корпусов бронетранспортера БТР-80 и многоцелевого тягача МТ-ЛБ. Эти боевые машины являются типичными представителями многочисленных семейств бронетранспортеров (БТР-60, БТР-70, БТР-80, БТР-90, БТР-94, БТР-3, БТР-4) и многоцелевых шасси МТ-ЛБ (тягачи, бронетранспортеры, ракетные установки, самоходные гаубицы). Исследование НДС их корпусов является достаточно актуальной и важной задачей, являющейся составным этапом модернизации и проектирования боевых машин нового поколения.

**Методика и результаты исследований.** Наиболее нагруженной частью корпусов боевых легкобронированных машин, оснащенных современным боевым модулем с размещенными в нем скорострельными артиллерийскими пушками, является верхняя часть. Подбашенный лист, верх моторно-трансмиссионного отделения, боковые, задние и передние листы образуют верхний пояс корпуса, представляющий сварную пространственную тонколистовую конструкцию.



Рис. 1. Макет верхней части корпусов: а – МТ-ЛБ; б – БТР-80

На рис. 1 представлены макеты верхних частей бронекорпусов БТР-80 и МТ-ЛБ. Поскольку в процессе эксплуатации и боевого применения эти части корпусов подвергаются высокочастотному нагружению, для их КЭМ важной характеристикой является достаточно точное соответствие динамических характеристик физической и конечно-элементной моделей. С этой целью было проведено расчетно-экспериментальное исследование макетов фрагментов корпусов.

В процессе экспериментального исследования на специальном стенде (рис. 2) с применением регистрирующего датчика, анализатора спектра вибраций, стенда генератора колебаний и генератора



Рис. 2. Закрепление макета на стенде

сигналов ГЗ-120 (рис. 3) возбуждались и фиксировались колебания.



На рис. 4-7 представлены собственные частоты (СЧ) и собственные формы колебаний (СФК) макета корпуса БТР-80 и МТ-ЛБ.

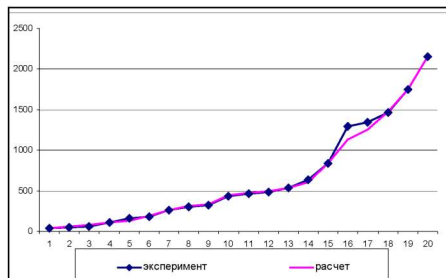


Рис. 4. Сравнение некоторых собственных частот макета МТ-ЛБ (Гц), полученных экспериментальным и расчетным путем

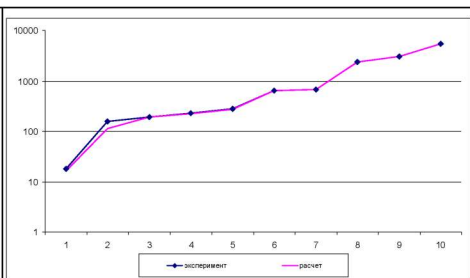


Рис. 5. Сравнение некоторых собственных частот макета БТР-80 (Гц), полученных экспериментальным и расчетным путем

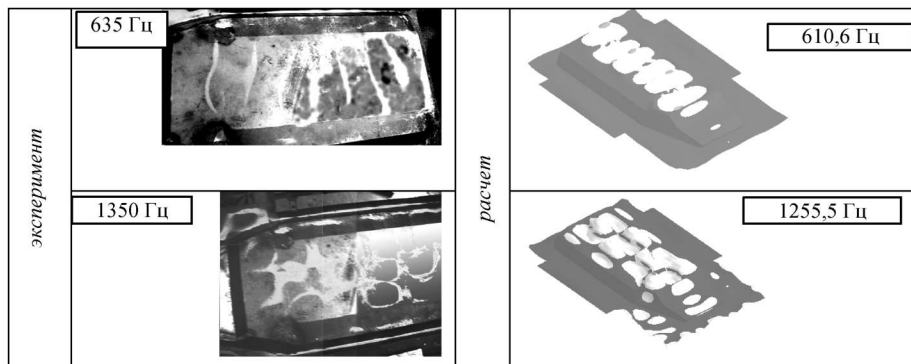


Рис. 6. Сравнение собственных форм колебаний макета МТ-ЛБ, полученных экспериментальным и расчетным путем

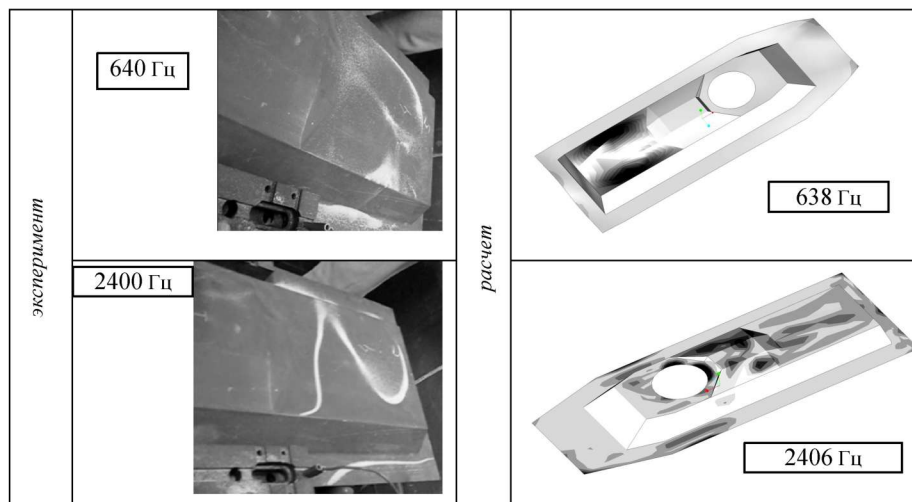


Рис. 7. Сравнение собственных форм колебаний макета БТР-80, полученных экспериментальным и расчетным путем

В диапазоне 20 Гц  $\div$  5кГц зафиксировано соответственно десятки СЧ и СФК, что свидетельствует о достаточно плотном спектре и разнообразии форм колебаний объектов исследований. Следовательно, верхнюю часть корпусов БТР-80, МТ-ЛБ и других аналогичных машин рекомендуется моделировать достаточно густой сеткой конечных элементов без зон сильного разрежения конечно-элементной сетки. Собственно, параметры этой сетки можно определить по результатам соответствующего численного моделирования.

Численное определение СЧ и СФК макетов фрагментов корпусов БТР-80 и МТ-ЛБ осуществлялось на КЭМ с варьируемым числом конечных элементов типа Shell. При сравнении этих спектров между собой и с экспериментально полученными можно заметить, что уже начиная с числа узлов 5000 (БТР-80) и 4000 (МТ-ЛБ) существенного уточнения нижних собственных частот не происходит, а отличие от экспериментально полученных частот не превышает 10%.

На рис. 8 представлены соответствующие конечно-элементные модели. В дальнейшем именно такие параметры пластинчатых конечно-элементных моделей будут использованы для дискретизации верхних частей корпусов легкобронированных боевых машин.

**Заключение.** В статье описаны результаты расчетно-экспериментального определения параметров конечно-элементных моделей корпусов легкобронированных боевых машин на примере бронетранспортера БТР-80 и многоцелевого тягача МТ-ЛБ. В процессе исследований установлены параметры конечно-элементных разбинок верхних частей корпусов, обеспечивающих определение собственных частот колебаний с погрешностью не вы-

ше 10%. В процессе дальнейших исследований планируется использовать полученные параметры КЭМ для анализа динамических процессов в корпусах легкобронированных машин и разработки рекомендаций по их проектированию для обеспечения заданных тактико-технических характеристик.

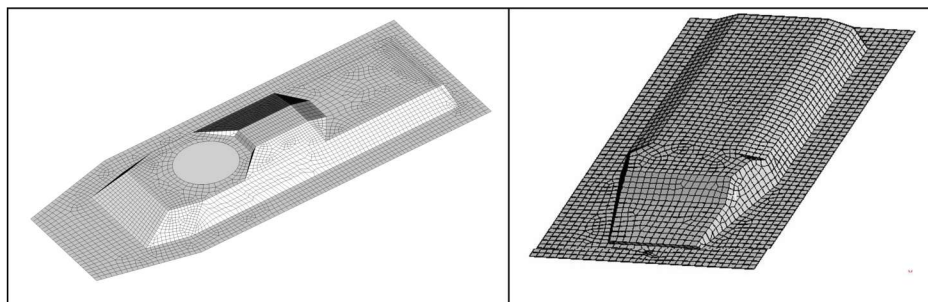


Рис. 8. Конечно-элементные модели корпусов БТР-80 и МТ-ЛБ, обеспечивающие погрешность в определении СЧ не более 10%

**Список литературы:** 1. Пелешко Е.В., Ткачук Н.Н., Гриценко Г.Д., Ткачук Н.А. Специализированный интегрированный программно-модельный комплекс на основе обобщенного параметрического описания сложных механических систем // Вісник НТУ „ХПИ”. Тем. вип.: “Машинознавство і САПР” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – № 3. – С.101-117. 2. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Глуценко Э.В., Ткачук А.В. Программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов сложных механических систем // Вісник НТУ „ХПИ”. Тем. вип.: “Динаміка і міцність машин”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – № 31. – С.154-165. 3. Васильев А.Ю., Мартыненко А.В., Шаталов О.Е. Пелешко Е.В., Назарова О.П. Комплексный подход к модернизации корпусов легкобронированных машин с использованием современных программных комплексов – Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Мелітополь: ТДАТА. – 2005. – № 26. – С.169-174. 4. Васильев А.Ю., Малакей А.Н., Пелешко Е.В., Шаталов О.Е. К вопросу интегрированных систем анализа динамических процессов в корпусах транспортных средств специального назначения // Механіка та машинобудування. – 2004.– №1. – С.46-55. 5. Зенкевич. О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с. 6. Пелешко Е.В. Применение обобщенно-параметрического подхода к анализу корпусов транспортных средств специального назначения // Механіка та машинобудування. – 2005 – №1. – С.83-87. 7. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Четурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механіка та машинобудування. – 2006. – №1. – С.57-79. 8. Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем // Механіка та машинобудування. – 2002. – №1. – С.6-13. 9. Ткачук Н.А., Пономарев Е.П., Медведева А.В., Миргородский Ю.Я., Малакей А.Н., Гриценко Г.Д. Определение рациональных параметров элементов механических систем // Механіка та машинобудування. – 2001.– №1,2. – С.308-314.

Поступила в редколлегию 25.09.2007